

3径間連続桁式逆ローゼ橋の最適弦材分配率に関する基礎的研究(第1報) : 試案の長径間橋梁に関する理論的研究

その他（別言語等）のタイトル	Fundamental Studies on the Most Profitable Distribution Ratio of Chord Members on the Reversed Lohse Bridge of Three-Span Continuous Girder Type (Part 1) : A Theoretical Study on the Tentative Long Span Bridge
著者	中村 作太郎
雑誌名	室蘭工業大学研究報告．理工編
巻	7
号	3
ページ	841-853
発行年	1972-09-15
URL	http://hdl.handle.net/10258/3559

3径間連続桁式逆ローゼ橋の最適弦材 分配率に関する基礎的研究 (第1報)

—— 試案の長径間橋梁に関する理論的研究 ——

中村 作 太 郎

Fundamental Studies on the Most Profitable Distribution Ratio
of Chord Members on the Reversed Lohse Bridge of
Three-Span Continuous Girder Type (Part 1)
— A Theoretical Study on the Tentative Long Span Bridge —

Sakutaro Nakamura

Abstract

The present writer induced the analytical formulae of sectional forces suited for the use of digital computer, on the reversed Lohse bridge of three-span continuous girder type.

He calculated each exactly upon the bending moments and the shearing forces of chord members and the axial forces of vertical members by using a digital computer (FOCOM-231), in the comparison of the five tentative reversed Lohse bridges of the said type with the same long span (total: 294 m) and the different distribution ratios of upper and lower chord members.

Then he pursued closely the most profitable distribution ratio of those chord members under the above-mentioned many calculated results.

I. 緒 言

従来、中径間橋梁として下路型式のランガー橋が盛んに用いられているが、最近、下空に余裕のある場合は、将来における幅員の拡大・頭空無制限などの利点から、好んで上路型式のランガー橋すなわち、逆ランガー橋が用いられるようになって来た。

しかし、ランガー系橋梁¹⁾はその剛性の乏しさ、振動に対する敏感性及び解法における厳密性の欠如などの点で難色があり、長径間の橋梁としては不向きと考えられ、むしろ有望な型式としては逆ローゼ系橋梁、特に3径間連続桁式逆ローゼ橋を推唱したい。

この意味において、著者は上・下弦材の断面比を種々変えた3径間連続桁式逆ローゼ橋に対し、力学的経済性において最も優れた弦材分配率比を見出すため、電子計算機(中小型計算機 FACOM-231)を酷使し、その理論解析・応力計算を試みた。

II. 主構の解析理論

図-1は3径間連続桁の中央径間を2ヒンジアーチで補剛した型式であり、中央径間がいわゆる逆ローゼ桁となる。この型式では中央径間が $(n+1)$ 個の格間を有するとすれば、全体では $(n+3)$ 次の高次不静定構造物となる。

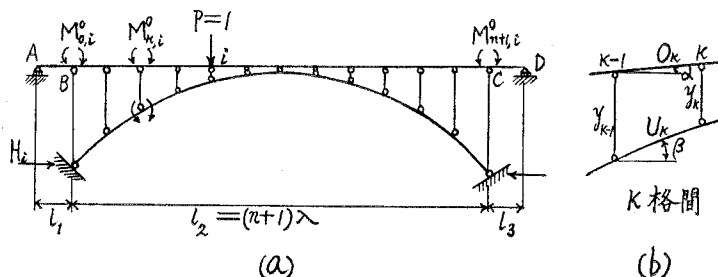


図-1 3径間連続桁式逆ローゼ橋の主構側面図

理論解析^{2),3)}に用いた仮定はローゼ桁の弾性設計法³⁾⁻⁵⁾に従い次の通りとする。

- 1) 格間長 λ は全径間にわたり一定とする。 $l_2=(n+1)\lambda$
- 2) 中央径間における荷重はすべて格点荷重とする。
- 3) 支柱の変形は無視する。
- 4) 格点間の弦材は直線部材とする。
- 5) 桁は変形後も変形前と同じ力の釣合状態を保つ。
- 6) 曲げモーメントは部材を下方に凸に弯曲させるものを正とし、垂直力は引張力を正とする。
- 7) 支点はすべて回転自由であるが、曲弦材の支点はその位置を固定されており、支柱の両端はヒンジにより弦材重心軸に結合されている。

次に、解式の誘導に当り必要な記号を示せば下記の通りである。

O_k, U_k : 中央径間の k 格点における上弦材及び下弦材の長さ, F_k^0, F_k^u : 同上の上弦材及び下弦材の断面積, I_k^0, I_k^u : 同上の上弦材及び下弦材の慣性モーメント, O'_k, U'_k : 中央径間の上弦材及び下弦材の換算長, I_c : 標準慣性モーメント, I_s : 側径間の慣性モーメント, m_{ck} : k 格点における単純桁としての曲げモーメント, M_0^0, M_{n+1}^0 : 上弦材格点0及び $(n+1)$ 点における支点モーメント, ΔH : M_0^0, M_{n+1}^0 による中央径間のみをとり出したときの水平反力の変位量, H_c^0 : 側径間を考えない場合の水平反力, H_c^u : 水平反力, Z : k 格点における支柱軸力, M_k^0, M_k^u : 上弦材及び下弦材格点 k 点における曲げモーメント。

不静定量としては、上下弦材の格点に作用する支点モーメント、下弦材両端に作用する水平反力及び支点B, Cに作用する支点モーメントをとることとする。

1. 中央径間格点モーメント $M_{k,\varepsilon}^0, M_{k,\varepsilon}^u$

上下弦材の任意の格点にそれぞれ三連モーメントの定理を適用し、

$$\left. \begin{aligned} O'_k M_{k-1}^0 + 2(O'_k + O'_{k+1}) M_k^0 + O'_{k+1} M_{k+1}^0 - \rho(\theta_k^0 - \theta_{k+1}^0) &= 0 \\ U'_k M_{k-1}^u + 2(U'_k + U'_{k+1}) M_k^u + U'_{k+1} M_{k+1}^u - \rho(\theta_k^u - \theta_{k+1}^u) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $\rho = 6EI_c, \quad O'_k = O_k(I_c/I_k), \quad U'_k = U_k(I_c/I_k)$

角方程式 $\sum \Delta l \sin \alpha - \sum \theta l \cos \alpha = 0$ を格点 k 及び $(k+1)$ についてたてると、 $O_k \cos \alpha_k = U_k \cos \beta_k = \lambda$ より次式を得る。

$$\Delta O_k \sin \alpha_k - \Delta U_k \sin \beta_k - \lambda(\theta_k^0 - \theta_k^u) = 0 \quad (2)$$

(2) 式の各々につきその差をとり、 $\Delta O_k \sin \alpha_k = 0$ とすれば、

$$O_k^0 - O_k^u - \theta_{k+1}^u + \theta_{k+1}^0 = (1/\lambda)(\Delta U_{k+1} \sin \beta_{k+1} - \Delta U_k \sin \beta_k)$$

を得る。

(1) 式の各々につきその差をとり、軸力 $\bar{U}_k = H \cos \beta_k + V_k^u \sin \beta_k \doteq H \cos \beta_k$ とし、 $M_{k-1}^0, M_k^0, M_{k+1}^0$ を消去し $O'_k + U'_k = l'_k$ とおけば、

$$l'_k M_{k-1}^u + 2(l'_k + l'_{k+1}) M_k^u + l'_{k+1} M_{k+1}^u = O'_k \varphi_{k-1} + 2(O'_k + O'_{k+1}) \varphi_k + O'_{k+1} \varphi_{k+1} \quad (3)$$

すなわち、 n 元連立一次方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} 2(l'_1 + l'_2) M_1^u + l'_2 M_2^u &= O'_1 \varphi_0 + 2(O'_1 + O'_2) \varphi_1 + O'_2 \varphi_2 \\ \dots \dots \dots \\ l'_n M_{n-1}^u + 2(l'_n + l'_{n+1}) M_n^u &= O'_n \varphi_{n-1} + 2(O'_n + O'_{n+1}) \varphi_n + O'_{n+1} \varphi_{n+1} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 $M_0^0 = \varphi_0, \quad M_{n+1}^0 = \varphi_{n+1}$ とすれば、次に示す行列式を得る。

$$\begin{vmatrix} 2(l'_1 + l'_2) & l'_2 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & l'_k & 2(l'_k + l'_{k+1}) & l'_{k+1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & l'_n & 2(l'_n + l'_{n+1}) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} M_1^u \\ \vdots \\ M_k^u \\ \vdots \\ M_n^u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} O'_1 & 2(O'_1 + O'_2) & O'_2 & \dots & \dots \\ \dots & O'_k & 2(O'_k + O'_{k+1}) & O'_{k+1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & O'_n & 2(O'_n + O'_{n+1}) & O'_{n+1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \varphi_0 \\ \vdots \\ \varphi_k \\ \vdots \\ \varphi_{n+1} \end{vmatrix} \quad (5)$$

$l'_k \doteq l'_{k+1}, \quad O'_k \doteq O'_{k+1}$ とすると、

$$\begin{vmatrix} 4 & 1 & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 4 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 1 & 4 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 4 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} l'_1 + l'_2 \\ 2 \\ \vdots \\ l'_k + l'_{k+1} \\ 2 \\ \vdots \\ l'_n + l'_{n+1} \\ 2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} M_1^u \\ \vdots \\ M_k^u \\ \vdots \\ M_n^u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} O'_1 + O'_2 \\ 2 \\ \vdots \\ O'_n + O'_{n+1} \\ 2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 4 & 1 & \dots & \dots \\ 1 & 4 & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 1 & 4 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 4 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \varphi_0 \\ \vdots \\ \varphi_n \\ \varphi_{n+1} \end{vmatrix}$$

故に $\begin{vmatrix} 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \ddots \\ 1, 4, 1 \\ 1, 4 \end{vmatrix}^{-1} \begin{vmatrix} 1, 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \ddots \\ 1, 4, 1 \\ 1, 4, 1 \end{vmatrix} = \alpha$ とおき, α は $a_{k,1}, a_{k,n}$ を $\begin{vmatrix} 4, 1 \\ 1, 4, 1 \\ \ddots \\ 1, 4, 1 \\ 1, 4 \end{vmatrix}^{-1}$ なる

マトリックスの第 1 列第 n 列の要素とすれば, $\alpha = \begin{vmatrix} a_{1,1} & 1 & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k,1} & & a_{k,n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n,1} & 1 & a_{n,n} \end{vmatrix}$ で与えられる故に,

下弦材モーメント M_n^u は次式で表わされる。

$$\begin{vmatrix} M_1^u \\ \vdots \\ M_k^u \\ \vdots \\ M_n^u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{O'_1+O'_2}{l'_1+l'_2} a_{1,1} & (1-t_1) & \frac{O'_n+O'_{n+1}}{l'_n+l'_{n+1}} a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{O'_k+O'_{k+1}}{l'_k+l'_{k+1}} a_{k,1} & (1-t_k) & \frac{O'_n+O'_{n+1}}{l'_k+l'_{k+1}} a_{k,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{O'_n+O'_{n+1}}{l'_n+l'_{n+1}} a_{n,1} & (1-t_n) & \frac{O'_n+O'_{n+1}}{l'_n+l'_{n+1}} a_{n,n} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varphi_0 \\ \varphi_1 \\ \vdots \\ \varphi_k \\ \vdots \\ \varphi_n \\ \varphi_{n+1} \end{vmatrix} \quad (6)$$

ここに, $1-t_k = \frac{O'_k+O'_{k+1}}{l'_k+l'_{k+1}}$

いま, $O'_k+O'_{k+1}$, $l'_k+l'_{k+1}$ が全径間にわたり一定であるから, $\frac{O'_k+O'_{k+1}}{l'_k+l'_{k+1}} = 1-t_k = S_k$ とおき,

$$\begin{vmatrix} M_1^u \\ \vdots \\ M_k^u \\ \vdots \\ M_n^u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{a_{1,1}} & S_1 & S_{a_{1,n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{a_{k,1}} & S_k & S_{a_{k,n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{a_{n,1}} & S_n & S_{a_{n,n}} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_k \\ \vdots \\ y_n \\ y_{n+1} \end{vmatrix} \quad (7)$$

ここに, $a_{k,1}$ は 1, 4, 15, 56, 209, 780, ... なる級数を $(n+1)$ 番目の項で割った値がもとになって作られるものである。従って格点モーメント $M_{k,\varepsilon}^0$, $M_{k,\varepsilon}^u$ は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M_{k,\varepsilon}^0 &= t_k(m_{k,\varepsilon} - h_k H_\varepsilon) + b_{k,0}^0 M_{0,\varepsilon}^0 + b_{k,n+1}^0 M_{n+1,\varepsilon}^0 \\ M_{k,\varepsilon}^u &= (1-t_k)(m_{k,\varepsilon} - h_k H_\varepsilon) + b_{k,0}^u M_{0,\varepsilon}^0 + b_{k,n+1}^u M_{n+1,\varepsilon}^0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここに, $b_{k,0}^0 = t_k(n+1-k)/(n+1) - 2a_{k,1}O'_1/(l'_k+l'_{k+1})$
 $b_{k,n+1}^0 = t_k k/(n+1) - 2a_{k,n}O'_n/(l'_k+l'_{k+1})$
 $b_{k,0}^u = (1-t_k)(n+1-k)/(n+1) + 2a_{k,1}O'_1/(l'_k+l'_{k+1})$
 $b_{k,n+1}^u = (1-t_k)k/(n+1) + 2a_{k,n}O'_n/(l'_k+l'_{k+1})$
 $k = 1, 2, \dots, n$

2. 支点 B, C のモーメント $M_{0,\varepsilon}^0$, $M_{n+1,\varepsilon}^0$

ローゼン全体としての内部エネルギー W の式を作り, これを変形し M_0^0 , M_{n+1}^0 で偏微分

すれば端のたわみ角が求まる。

$$\left. \begin{aligned} M_{0,\varepsilon}^0 &= \left\{ -C_1(C_{0,\varepsilon} + N_{B,\varepsilon}) + C_2(C_{n+1,\varepsilon} + N_{c,\varepsilon}) \right\} / (C_1^2 - C_2^2) \\ M_{n+1,\varepsilon}^0 &= \left\{ -C_1(C_{n+1,\varepsilon} + N_{c,\varepsilon}) + C_2(C_{0,\varepsilon} + N_{B,\varepsilon}) \right\} / (C_1^2 - C_2^2) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3. 支点モーメント M_0^0 による水平反力 ΔH

ローゼ桁全体の内部エネルギー W の式に最小仕事の原理を適用し、 $\frac{\partial W}{\partial H} = 0$ とおけば、 ΔH は次の通りになる。

$$\Delta H = \left[\sum_{k=1}^{n+1} \left\{ O_k' b_{k,0}^0 t_k h_k + U_k' b_{k,0}^u (1-t_k) h_k \right\} - O_1' \left\{ (2/3) b_{1,0}^0 - 1 \right\} t_1 h_1 \right] / \left[\sum_{k=1}^{n+1} \left\{ O_k' t_k^2 h_k^2 + U_k' (1-t_k)^2 h_k^2 \right\} - (2/3) O_1' t_1^2 h_1^2 + \sum_{k=1}^{n+1} (U_k I_c / F_k^u) \sec^2 \beta \right] \quad (10)$$

4. 水平反力 H_ε^H

水平反力は最初側径間のないローゼ桁としての H_ε^L 計算し、これを用いて両支点モーメントを計算する。

$$H_\varepsilon^H = H_\varepsilon^L + \Delta H (M_{0,\varepsilon}^0 + M_{n+1,\varepsilon}^0) \quad (11)$$

5. せん断力 $V_{k,\varepsilon}$

$$\left. \begin{aligned} \text{上弦材: } V_{k,\varepsilon}^0 &= (M_{k+1,\varepsilon}^0 - M_{k,\varepsilon}^0) / \lambda \\ \text{下弦材: } V_{k,\varepsilon}^u &= (M_{k+1,\varepsilon}^u - M_{k,\varepsilon}^u) / \lambda + H_\varepsilon^H \tan \beta_{k+1} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

6. 支柱軸力 $Z_{k,\varepsilon}$

$$\left. \begin{aligned} \text{中間支柱: } Z_{k,\varepsilon} &= V_{k,\varepsilon}^0 - V_{k+1,\varepsilon} + \delta_{k,\varepsilon} \\ \text{端支柱: } Z_{1,\varepsilon} &= V_{1,\varepsilon}^0 - V_{0,\varepsilon} + \rho \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ここに、 $\delta_{k,\varepsilon}$: Kronecker の記号 ($k=i, \delta_{k,\varepsilon}=1$; $k \neq i, \delta_{k,\varepsilon}=0$)

ρ : 側径間を単純桁と考えたときの反力

III. 試案設計概要

支間 $L = l_1 + l_2 + l_3 = 47 \text{ m} + 200 \text{ m} + 47 \text{ m} = 294 \text{ m}$ を有する長径間の3径間連続桁式逆ローゼ道路橋を試案設計し、デジタル電子計算機 FACOM-231 (室蘭工業大学所有) を利用し、主構・横構などの応力計算を行なって好結果を収めた。

図-2 は一般図を示したもので、設計条件は次の通りである。

1) 型式: 3 径間連続桁式逆ローゼ橋, 2) 橋種: 1 等道路橋 (荷重 T-20, L-20), 3) 支間: 47 m + 200 m + 47 m, 4) 幅員: 11.0 m, 5) 舗装: 5.0 cm 厚シートアスファルト舗装, 6) 床版: 鉄筋コンクリート床版, 7) 使用鋼材: SS-41, SM-50 A, 60 キロ鋼, 8) 適用示方書: 鋼道路

橋設計示方書 (1964), 鋼道路橋製作示方書 (1964), 溶接鋼道路橋製作示方書 (1964), 鉄筋コンクリート標準示方書 (1967)

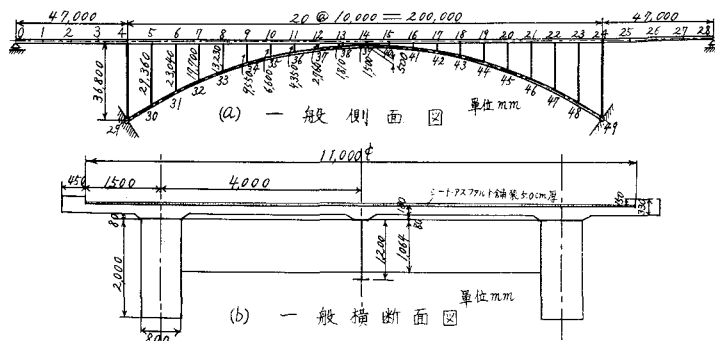


図-2 3径間連続桁式逆ローゼ橋の試案設計概要図

IV. 主構の最適弦材分配率に関する追究

1. 弦材分配率の異なる数種の場合の比較計算

主構の上下弦材の分配率比を, No. 1 (0.3:0.7), No. 2 (0.4:0.6), No. 3 (0.5:0.5), No. 4 (0.6:0.4), No. 5 (0.7:0.3) の5通りの場合に変化させ, 前述せる主構の解析理論によって, 水平反力・上弦材格点モーメント・下弦材格点モーメント・上弦材格点せん断力・下弦材格点せん断力・支柱軸力などの影響線を求めるため, デジタル電子計算機 FACOM-231 (室蘭工業大学所有) を酷使し, 膨大なる比較計算を試みた。

A. 水平反力 H_z^H 影響線

水平反力 H_z^H の影響線を示せば, 図-3 の通りである。

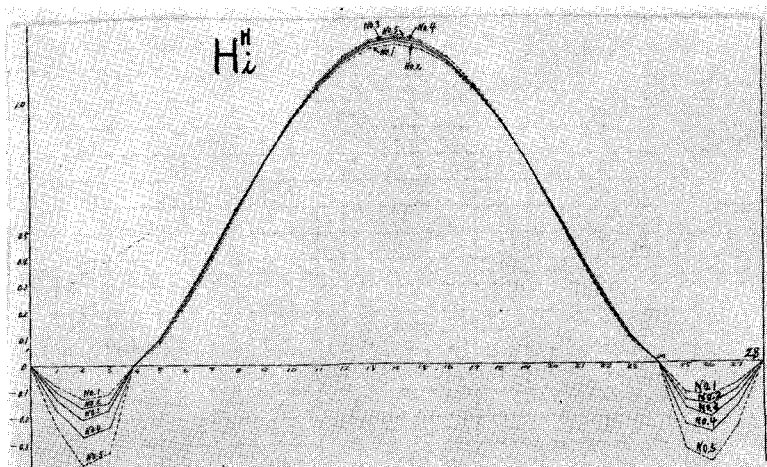
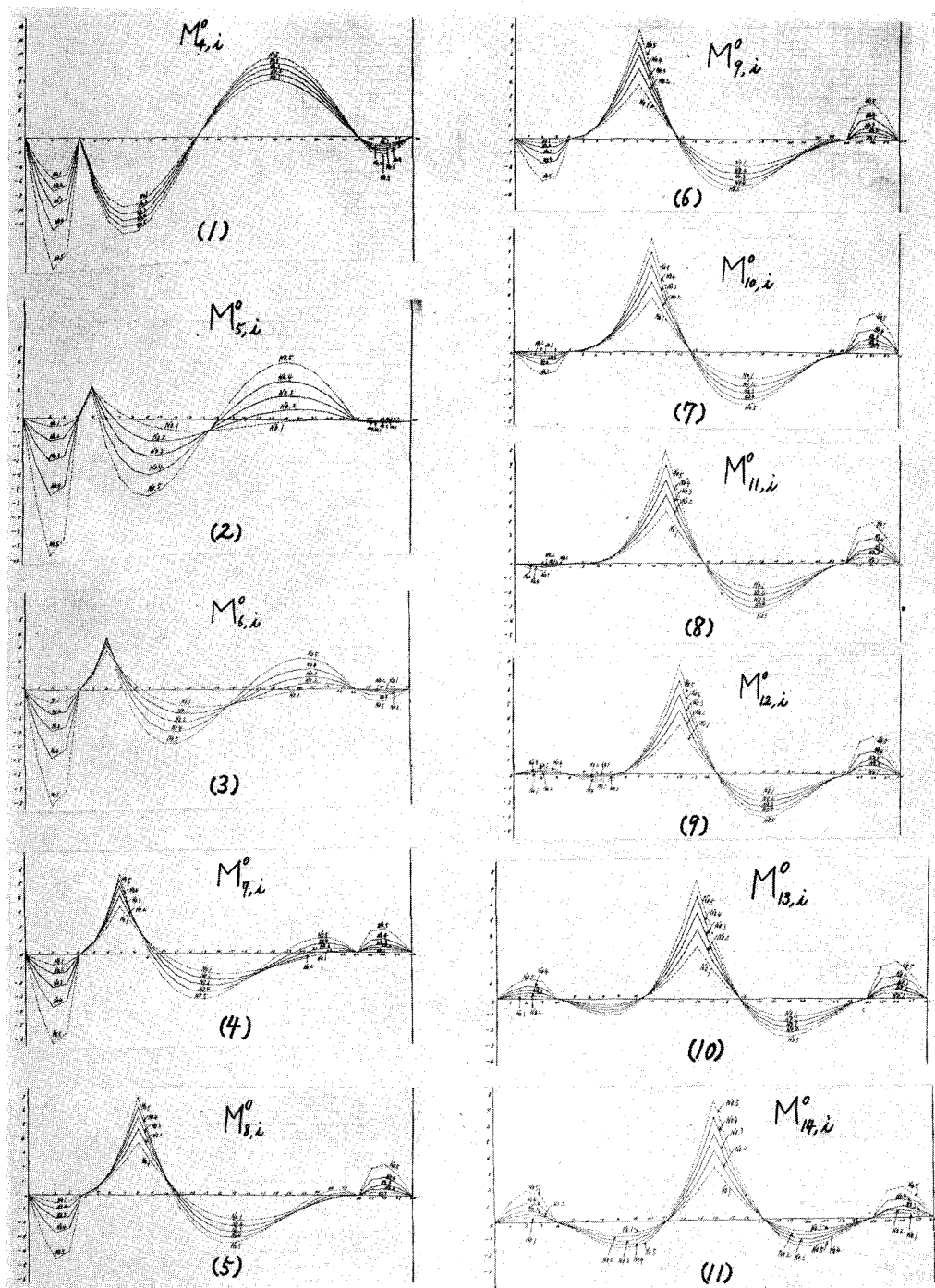
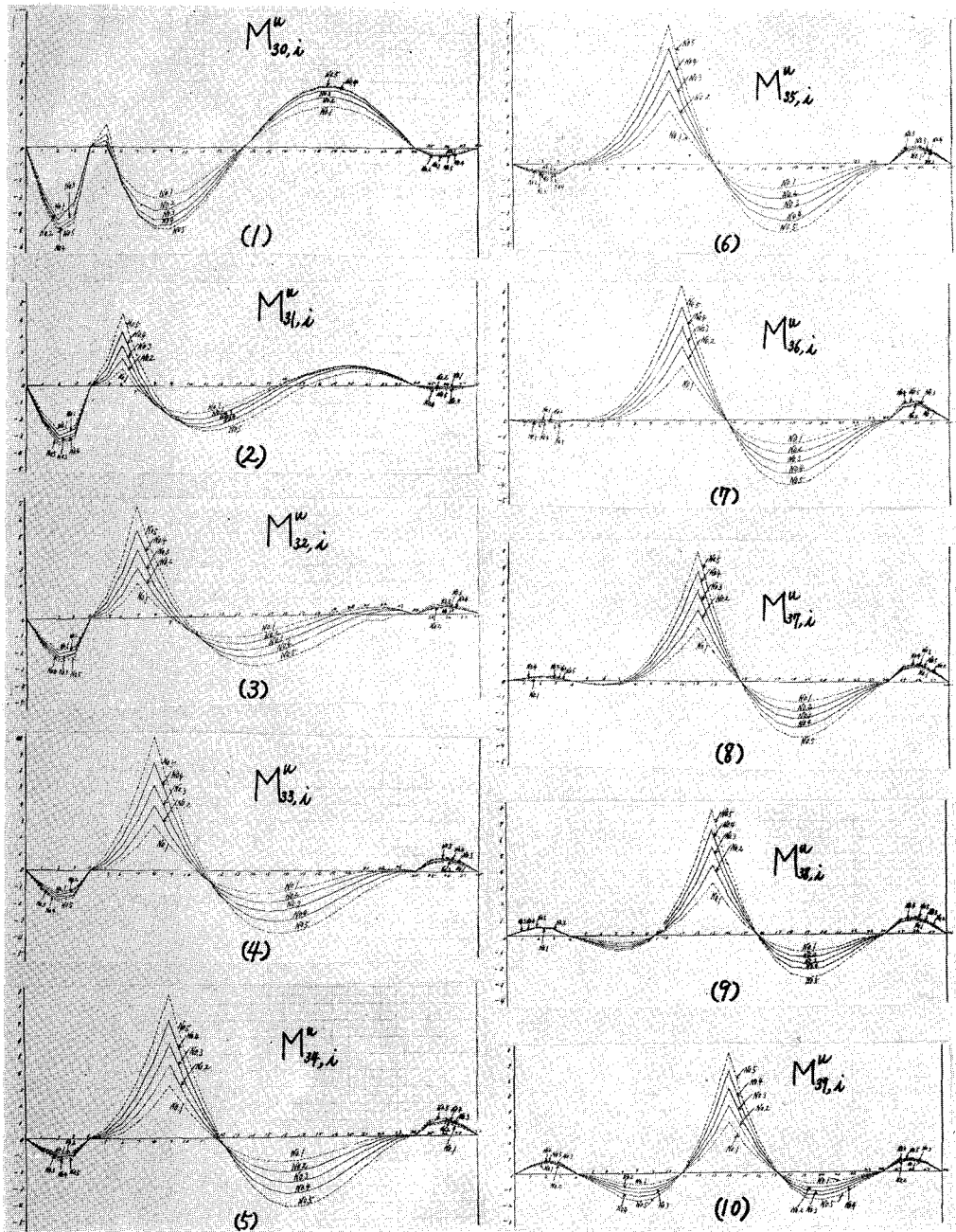


図-3 水平反力 H_z^H 影響線

B. 上弦材格点モーメント $M_{k,1}^0$ 影響線 (図-4 参照)図-4 上弦材格点モーメント $M_{k,i}^0$ 影響線

C. 下弦材格点モーメント $M_{k,i}^u$ 影響線 (図-5 参照)図-5 下弦材格点モーメント $M_{k,i}^u$ 影響線

D. 上弦材格点せん断力 $V_{x,i}^0$ 影響線 (図-6 参照)

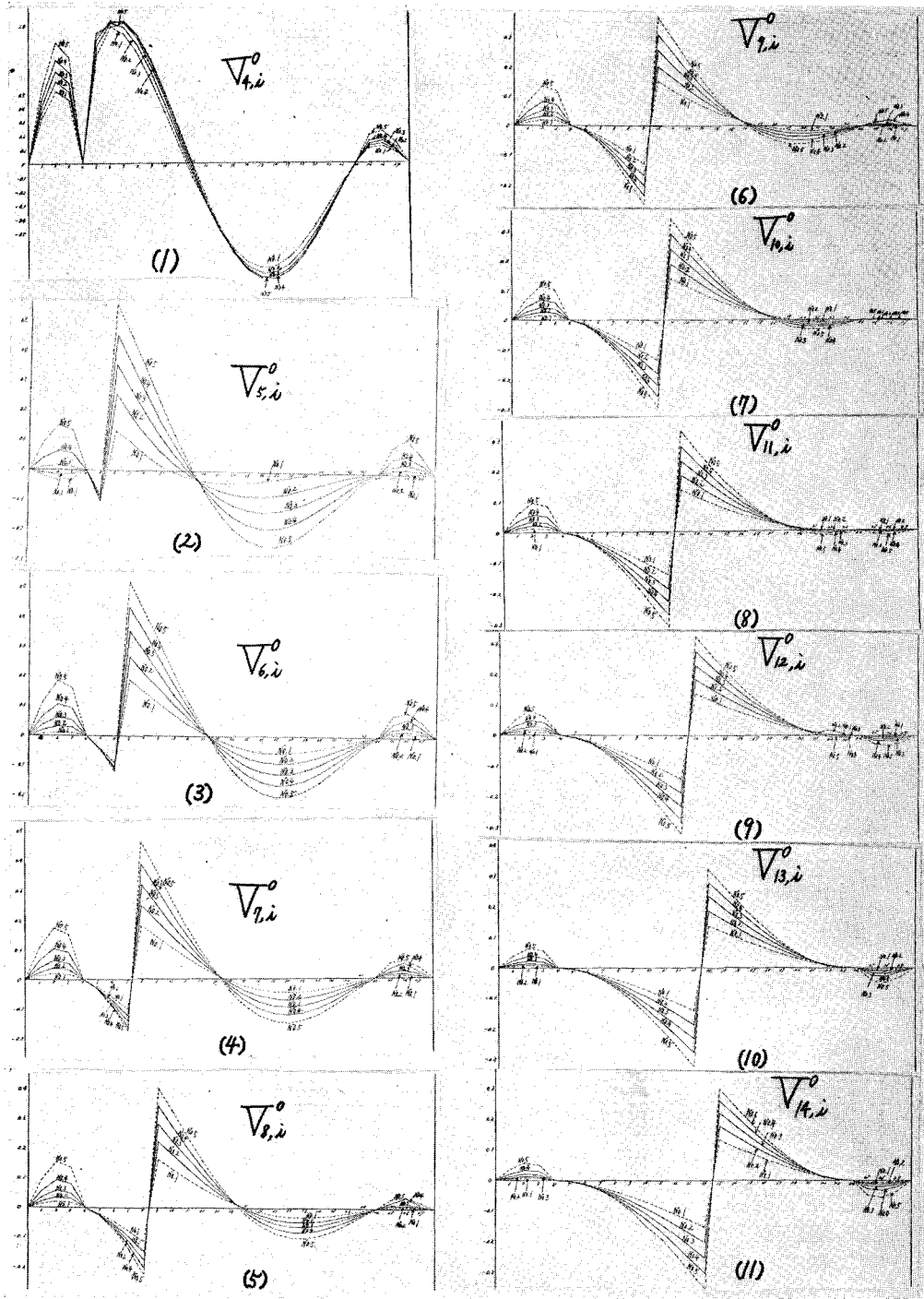
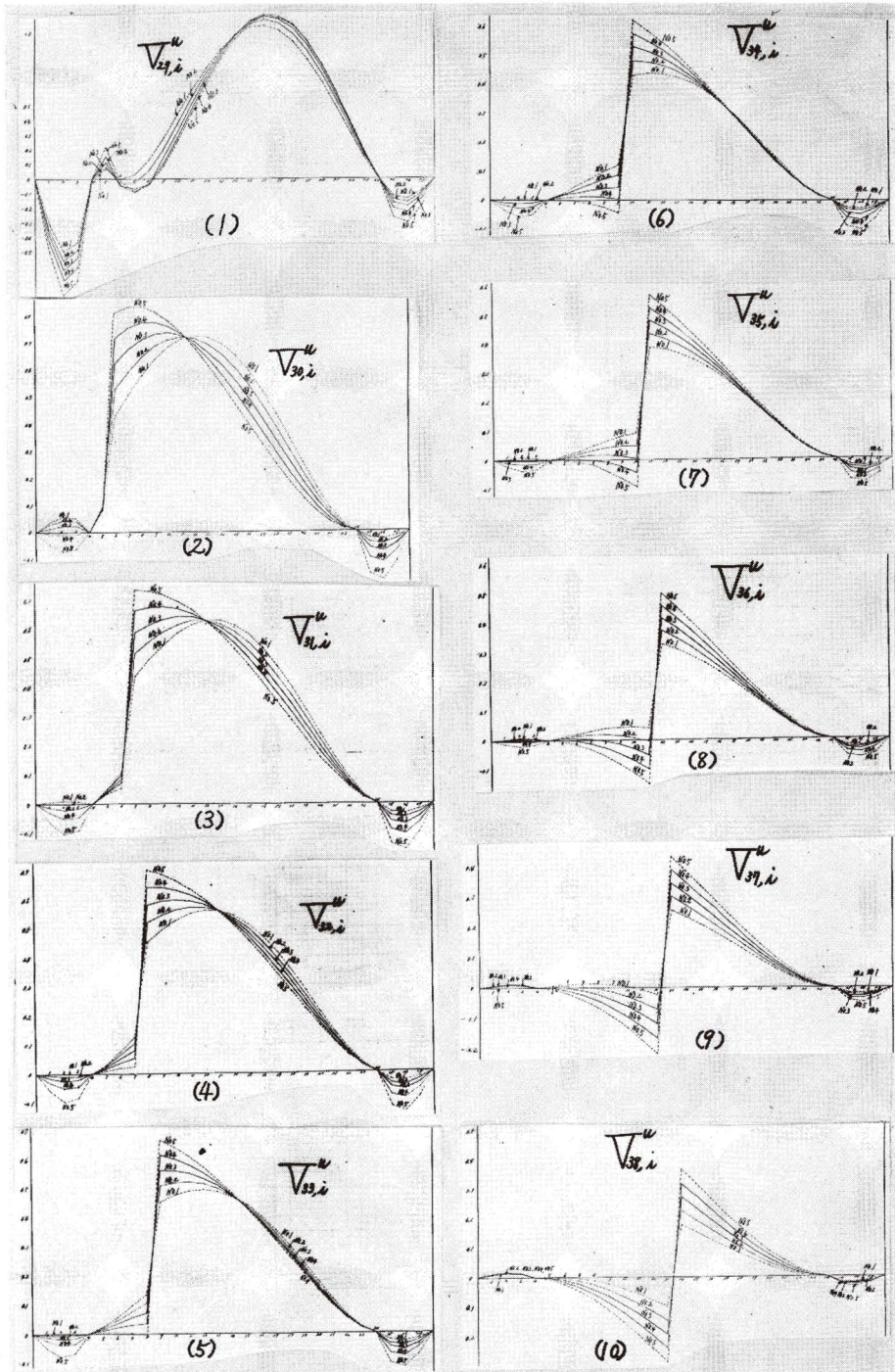


図-6 上弦材格点せん断力 $V_{x,i}^0$ 影響線

E. 下弦材格点せん断力 $V_{k,i}^u$ 影響線 (図-7 参照)図-7 下弦材格点せん断力 $V_{k,i}^u$ 影響線

F. 支柱軸力 $Z_{k,i}$ 影響線 (図-8 参照)

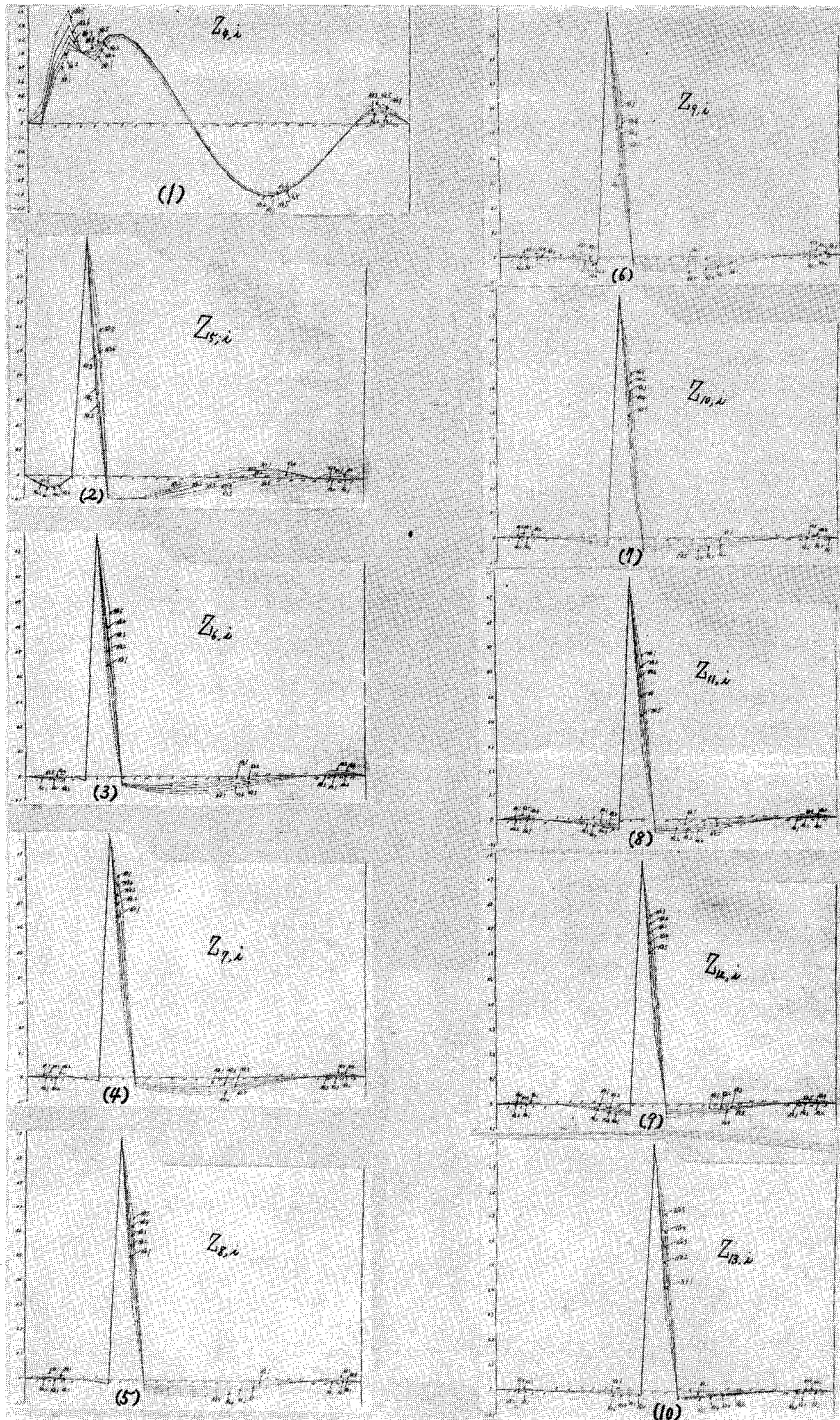


図-8 支柱軸力 $Z_{k,i}$ 影響線

2. 計算結果より見た考察

上述の比較計算結果より、弦材分配率の異なる影響について考察して見る。

A. 水平反力 H_{ξ}^H

水平反力影響線縦距の総和を求めて見ると、表-1 の通りとなる。

表-1 H_{ξ}^H 影響線縦距の総和

番 号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
分 配 率 比	0.3:0.7	0.4:0.6	0.5:0.5	0.6:0.4	0.7:0.3
側 径 間	-0.31316	-0.40180	-0.50447	-0.66951	-0.93404
中 央 径 間	14.14519	14.17262	14.18632	14.20617	14.20031
全 径 間	13.51887	13.36902	13.17738	12.86715	12.33223

表-1 の結果より、上弦材に比べ下弦材の分配率の高いほど、全径間満載荷重による水平反力の影響が大きく出ることがわかる。

B. 上弦材の支点モーメント $M_{4,\xi}^0$

上弦材の支点モーメント影響線縦距の総和を求めて見ると、表-2 の通りとなる。その結果からすると、上弦材に比べ下弦材の分配率の低いほど、全径間満載荷重による上弦材の支点モーメントは著しく大きくなることがわかる。側径間の影響を考慮せず、中央径間のみに満載荷重ある場合でも、その差異は著しく減少するけれども、やはり同様の傾向を示すことがわかる。

表-2 $M_{4,\xi}^0$ 影響線縦距の総和

番 号	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
分 配 率 比	0.3:0.7	0.4:0.6	0.5:0.5	0.6:0.4	0.7:0.3
側 径 間	-17.18403	-22.15650	-28.37468	-37.26538	-52.21113
中 央 径 間	7.63309	8.30753	9.01926	9.24501	9.67810
全 径 間	-9.55094	-13.84897	-19.35542	-28.02037	-42.53303

C. 上弦材の格点モーメント $M_{k,\xi}^0$

上弦材の格点モーメントは支点付近では、支点モーメントの影響を受け負のモーメントが増加し、中央点付近では逆に正のモーメントが増加する。この傾向は上弦材分配率の増加にともない顕著に現われることがわかる。

D. 下弦材の格点モーメント $M_{k,\xi}^u$

下弦材の格点モーメントも上弦材同様に、やはり支点モーメントの影響をかなり受けるが、上弦材の場合ほど著しくはない。しかも下弦材分配率の増加にともない支点モーメントの影響は小さくなっていることがわかる。

V. 結 言

本設計試案のような中央径間 200 m 内外, 側径間 40~50 m 程度の 3 径間連続桁式逆ローゼ橋においては, 下弦材に比べ上弦材の分配率の高いほど, 力学的経済性から見て不利を免かれないようであり, 最適弦材分配率比は 0.3:0.7 か 0.4:0.6 あたりであろう。

なお, 本研究は理論計算による基礎的なものであり, 実際問題としては弦材断面の詳細設計をも考慮に入れて最適のものを選ぶべきである。

また, 本研究の継続として光弾性模型実験も行なったが, それについては後日第 2 報として発表する予定である。

最後に, 本研究に対しては本学土木工学科の卒業生, 大方美一・菅野和夫の両君に在学中ご協力頂いたことを付し, 心から謝意を表する次第である。 (昭和 45 年 5 月 19 日受理)

文 献

- 1) 中村作太郎: 土木学会第 15 回年次学術講演会概要集, II-21, 45 (1960).
- 2) 中村作太郎: 土木学会第 24 回年次学術講演会講演集, I-145, 407 (1969).
- 3) 中村作太郎: 土木学会北海道支部研究発表会論文集, 第 26 号, 33 (1970).
- 4) 平井 敦ほか 4 名: 鋼橋 (III), 37 (技報堂, 1967).
- 5) 成瀬勝武ほか 2 名: 土木技術, 19-10, 35 (1964).
- 6) 中村作太郎: 土木学会第 25 回年次学術講演会講演集, I-71, 189 (1970).